

Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове Прибайкалья и бассейна озера Байкал

Т. Е. Афонина ✉

Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежовского,
Российская Федерация
(664038, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, 1)

Аннотация. Цель – геоэкологическая оценка состава и концентраций полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в снежном покрове Прибайкалья и озера Байкал

Материал и методы. Пробы снежного покрова были отобраны в 2020- 2021 годах, до активного снеготаяния в конце февраля, около источников выбросов загрязняющих веществ – городов, и в первой декаде марта на территориях, удаленных от источников техногенного воздействия. Исследованиями охвачена наиболее населенная юго-западная и центральная территории Иркутской области (Прибайкалье) и юго-восточная часть побережья озера Байкал, и акватория Южного Байкала. Для определения станций отбора проб использовали спутниковый навигационный GPS приёмник GARMIN-e-Trex. Концентрации и состав ПАУ определяли в талой снеговой воде хромато-масс-спектрометрическим методом.

Результаты и обсуждение. Полученные результаты, показали пространственную неоднородность поступлений ПАУ на территории Прибайкалья и озера Байкал. Состав и концентрации ПАУ различаются по территориальному охвату. Около техногенных источников выбросов идентифицировано до 14 ПАУ. Суммарные концентрации ПАУ колеблются от незначительных – 0,353 мг/дм³ (г. Зима) до аномально высоких – 38,00 мг/дм³ на территории, прилегающей к Иркутскому алюминиевому заводу (ИрААЗ города Шелехов). Также на территории около ИрААЗа обнаружены аномально высокие концентрации бенз(а)пирена, в 231,5 раз превышающие фоновые значения. Установлены уровни загрязнения снежного покрова ПАУ на территориях, находящихся около источников выбросов и более удаленных.

Выводы. Полученные результаты исследования позволили провести геоэкологическую оценку по загрязненным ПАУ территориям. Выявлены по территориальному охвату поступления максимальных и минимальных концентраций ПАУ.

Ключевые слова: снежный покров, пробы, озеро Байкал, Прибайкалье, геоэкологическая оценка, полициклические ароматические углеводороды.

Для цитирования: Афонина Т. Е. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове Прибайкалья и бассейна озера Байкал // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2024, № 2, с. 130-135. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/114-119>

ВВЕДЕНИЕ

При геоэкологической оценке загрязнения природных территорий различными техногенными поллютантами, наиболее показательными являются ПАУ, которые отнесены в категорию особо опасных соединений, так как многие из них являются канцерогенами и стойкими органическими соединениями. Источниками поступления ПАУ считают предприятия энергетического комплекса, нефтеперерабатывающая и химическая промышленность, автотранспорт, сжигание нефтепродуктов и различных органических веществ, в том числе, сжигание попутного газа, также ПАУ образуются в результате лесных пожаров [9]. ПАУ накапливаются в атмосфере в составе аэрозолей и на подстилающую поверхность поступают с осадками или в виде «сухих» выпадений, также в составе аэрозолей ПАУ могут переноситься воздушными потоками на большие расстояния от источника выбросов. Больше всего ПАУ по-

ступают в атмосферу в зимний период, когда работают предприятия энергетического комплекса [8].

ПАУ на территорию Прибайкалья и озера Байкал поступают от различных техногенных источников, как местных региональных, так и переносятся воздушными массами из удаленных западных и восточных регионов. ПАУ определяли в снежном покрове, который является уникальным сорбентом в накоплении загрязняющих веществ. Идентифицировано 14 2-5 кольчатых ПАУ: нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуарен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(а)пирен, бенз(ghi)перил.

В районах техногенного воздействия, около промышленных городов Прибайкалья проводили снегосъемку с помощью автомашин и на озере Байкал с помощью снегоходов. Также была проведена геоэкологическая оценка сельскохозяйственных угодий (паш-

© Афонина Т. Е., 2024

✉ Афонина Татьяна Евгеньевна, e-mail: bf-vniprirodi@narod.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

ня, луг, пастбище), находящихся под факелом выбросов промышленных предприятий и более удаленных от источников выбросов. Наблюдения за состоянием снежного покрова позволили провести пространственную геоэкологическую оценку большой территории и выявить аномально высокие загрязненные территории.

Цель работы – провести геоэкологическую оценку загрязнения территорий ПАУ по снежному покрову Прибайкалья и озера Байкал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования являлся снежный покров, который в Прибайкалье и на озере Байкал довольно устойчив и длителен – с конца октября по март и является идеальным естественным планшетом по накоплению выпадающих загрязняющих веществ из атмосферы.

Пробы снега отбирали в конце зимнего периода при максимальной высоте снежного покрова в конце февраля около источников техногенных выбросов и первой декаде марта в удаленных территориях. По охвату территории был исследован снежный покров около крупных промышленных источников, объединяющихся как Иркутско-Черемховский промышленный комплекс, с городов Черемхово, Свирск, Усолье-Сибирское, Зима, Ангарск, Иркутск, Байкальск. Снежный покров исследовали в удаленных территориях от источников техногенных выбросов – районах Прибайкалья: Аларский, Черемховский, Усольский, Зиминский, Ангарский, Иркутский, Шелеховский и Слюдянский – на акватории озера Байкал.

Пробы отбирали по всей высоте снежного покрова, упаковывали в полиэтиленовые пакеты, маркировали. Координаты определяли с помощью спутникового навигационного GPS приёмника GARMIN-e-Trex. Общее количество изученных проб более 100, количество станций отбора проб – 44. Отбор и подготовку проб снега проводили согласно ГОСТ 17.1.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков [1] и Руководству по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89 – 1991 [2]. Анализ ПАУ выполняли хромато-масс-спектрометрическим методом [10]. Нижний предел измерения для бенз(а)пирена в талой снеговой воде – 0,002 мкг/дм³, для остальных ПАУ – 0,004 мкг/дм³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования снежного покрова на содержание и состав ПАУ позволили провести геоэкологическую оценку их накопления около промышленных предприятий и удаленных от источников промышленных выбросов. Состав и концентрации ПАУ в снежном покрове около источников выбросов не одинаковы и отличаются как по составу, так и по концентрациям ПАУ. Например, в Черемховском районе, в городе Свирске на территории около бывшего мышьякового завода, идентифицированы 7 ПАУ, преобладает антрацен 0,122 мкг/дм³. На территории города идентифицированы 10 ПАУ, высокие концентрации

нафталина – 0,55 мкг/дм³, фенантрен – 0,108 мкг/дм³, антрацена – 0,132 мкг/дм³. От 11 до 14 ПАУ идентифицировано около источников выбросов городов Ангарск (11 ПАУ), Усолье-Сибирское, 13 ПАУ и Шелехово, около алюминиевого завода (14 ПАУ). Аномально высокие суммарные концентрации ПАУ около ИркаЗа до 38,00 мкг/дм³, высокие суммарные концентрации ПАУ определялись около города Иркутска до 2,856 мкг/дм³, города Усолье-Сибирское – 1,793 мкг/дм³, и города Черемхово – 1,064 мкг/дм³ (рис. 1).

В составе ПАУ около источников выбросов преобладают нафталин, который обнаружен во всех пробах, максимальные концентрации определяются в пробах около источников выбросов в пределах 0,984 мкг/дм³ около ИркаЗа, 0,102 мкг/дм³ около города Черемхово. Высокие концентрации фенанрена, антрацена, бенз(b)флуорантена.

Среди голаядерных ПАУ большое внимание уделяется бенз(а)пирену, как наиболее опасному и распространенному канцерогену. Принято считать, что бенз(а)пирен образуется при нагревании органического материала в условиях недостатка кислорода, присутствует в выхлопных газах автомобилей (в особенно больших количествах выделяется дизельными двигателями при плохой отладке), и обнаруживается в промышленных отработанных газах [5].

В течение нашего периода исследования в пробах атмосферного воздуха в Иркутской области регистрировались высокие и очень высокие (от 10 до 55 ПДК) загрязнения бенз(а)пиреном. Высокие и очень высокие концентрации бенз(а)пирена отмечались в зимние месяцы. Количество выбросов загрязняющих веществ отходящих от всех стационарных источников выделения, составляло до 2980,011 тыс. тонн/год в Иркутской области [6].

Однако несмотря на очень высокие концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе, в пробах талой снеговой воды, практически во всех пробах, бенз(а)пирен определялся в следовых количествах, т.е. меньше 0,002 мкг/дм³, за исключением территорий около источников выбросов городов Усолье-Сибирское, Шелехов, Иркутск, где аномально высокие его концентрации определены около ИркаЗа (город Шелехов), 0,926 мкг/дм³, которые в 231,5 раз превышали фоновые значения в пробах талой снеговой воды, отобранных и проанализированных в один и тот же временной период (0,002 мкг/дм³, Аларский район).

Также низкие концентрации бенз(а)пирена были определены в окрестностях города Усолье-Сибирское – 0,004 мкг/дм³, концентрации бенз(а)пирена на территории около города Иркутска – 0,010 мкг/дм³.

В удаленных от локальных источников выбросов (50–250 км), пробы снега отбирали на сельскохозяйственных угодьях (пашня, пастбище, сенокос), в лесных массивах, на акваториях рек Белая, Ока, Иркутском водохранилище и озере Байкал. Максимальные суммарные концентрации ПАУ в снежном покрове в удаленных территориях обна-

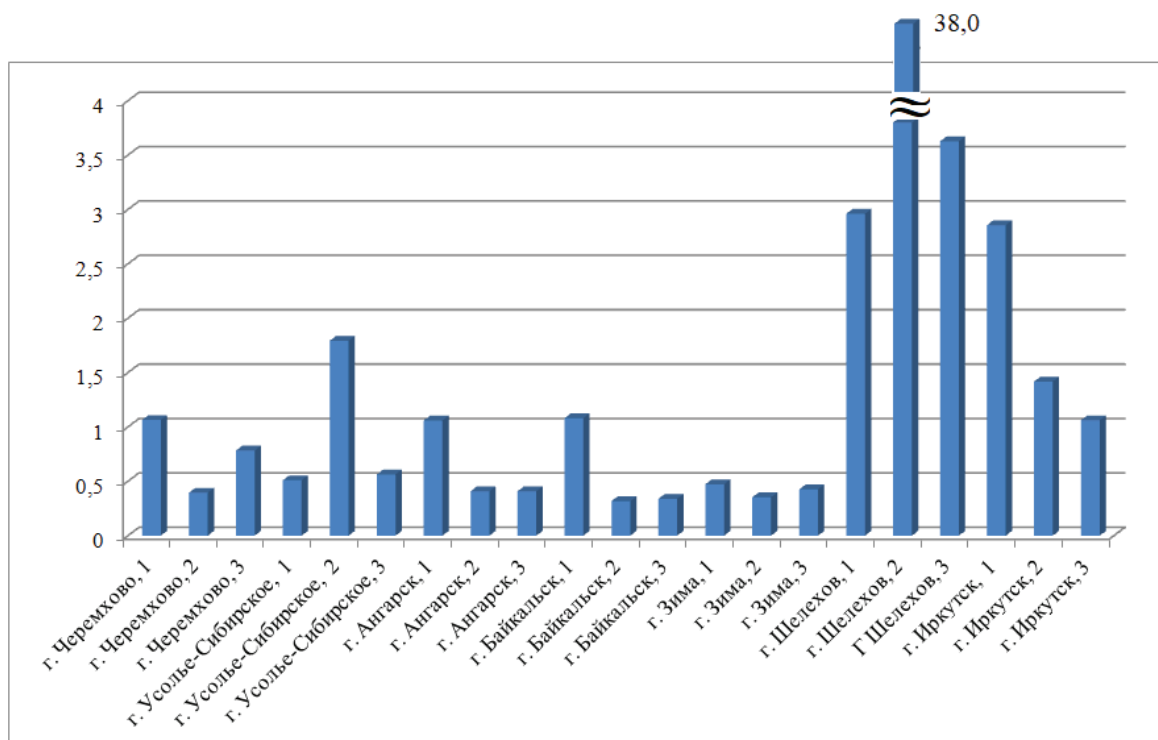


Рис. 1. Суммарное содержание ПАУ в снежном покрове около источников выбросов, мкг/ дм³
 [Fig. 1. Total content of PAHs in snow cover near emission sources, µg/dm³]

ружены на акватории реки Иркут в Шелеховском районе в количестве 5,619 мкг/дм³ (рис. 2).

Следует отметить, что аномально высокие суммарные концентрации ПАУ характерны для снежного покрова на сельскохозяйственных угодьях Шелеховского

района; так, около поселка Олха концентрация ПАУ 1,155 мкг/дм³, поселка Баклаши – 1,503 мкг/дм³, поселка Веденщина – 1,065 мкг/дм³.

Высокие концентрации ПАУ в сельскохозяйственных угодьях обусловлены мощным выбросом загрязня-

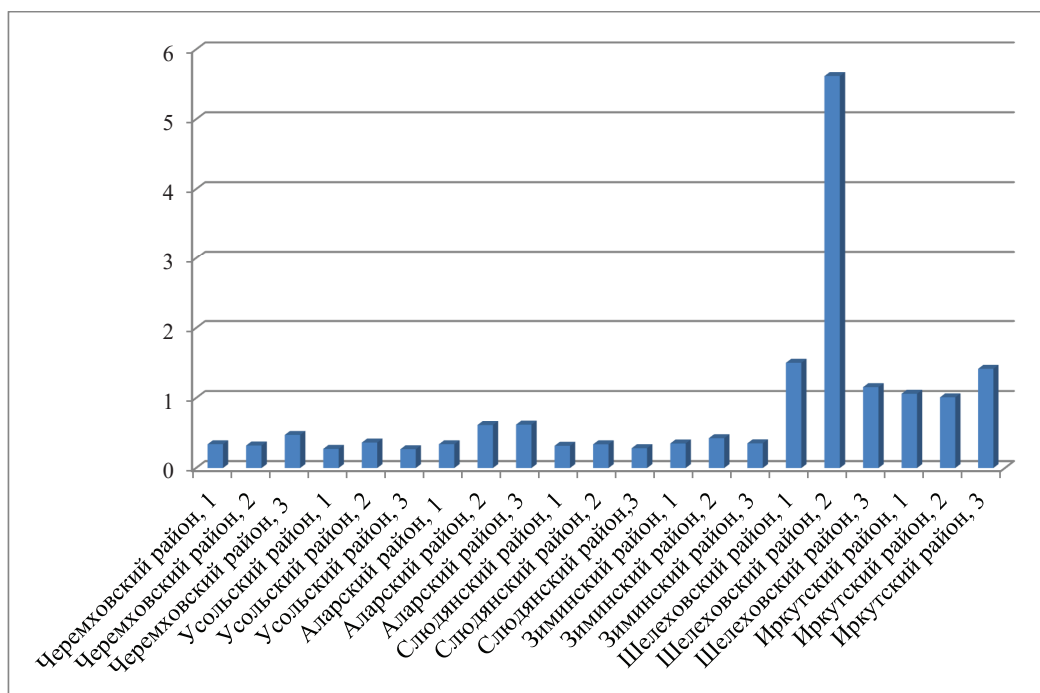


Рис. 2. Суммарное содержание ПАУ в снежном покрове удаленных территорий мкг/ дм³
 [Rice. 2. Total content of PAHs in the snow cover of remote areas µg/dm³]

ющих веществ более 450 тыс. т/год [4] и географическим положением ИркАЗа, который расположен в Олхино-Иркутской впадине. Высокие концентрации ПАУ наблюдаются в Иркутском районе, в снежном покрове на акватории Иркутского водохранилища – 1,417 мкг/дм³, и лесных массивах до 1,243 мкг/дм³. Высокие концентрации ПАУ могут быть обусловлены их переносом по долине реки Ангара из северо-западных, северных регионов, города Братска, Иркутско-Черемховского промышленного комплекса, в силу северо-западного и западного направления [7]. Повышенные суммарные концентрации ПАУ определяются в сельскохозяйственном Аларском районе от 0,615 до 0,620 мкг/дм³, на остальных территориях концентрации ПАУ не превышают 0,420 мкг/дм³ (см. рис. 2).

В составе ПАУ во всех пробах преобладают антрацен, фенантрен, в незначительных концентрациях нафталин, флуорантен, Антрацен поступает в атмосферу при сжигании углей, большое его количество содержится в каменноугольной смоле [13], фенантрен содержится в выбросах автотранспорта с дизельными двигателями и при сжигании бытовых отходов [14]. флуорантен поступает в атмосферу как продукт неполного сгорания и содержится в высококипящей фракции каменноугольной смолы [15]. В концентрациях 0,009 – 0,023 мкг/дм³. В единичном случае 0,106 мкг/дм³ (Ангарский район) содержится хризен, который, как и флуорантен, определяется в каменноугольной смоле. Во всех пробах присутствуют 3-4 ядерные ПАУ, которые характеризуют высокий уровень антропогенной нагрузки [11]. Следует отметить, что бенз(ghi)перилен отсутствует во всех образцах из этих районов, бенз(а)пирен встречается в двух случаях, в Аларском районе – 0,002 мкг/дм³ и Усольском районе 0,007 мкг/дм³.

Как указывалось выше, бенз(а)пирен встречался в 4 пробах талой снеговой воды около источников загрязнения в Шелеховском, Иркутском и Усольском районах, и в 2 пробах в удаленных территориях – Шелеховском и Усольском районах. Однако, исследования, проводимые нами ранее, в 1985-1991 годов, по программе Института глобального климата и экологии РАН и Росгидромета в высокогорных хребтах Хамар-Дабана, Приморского, Баргузинского, Байкальского, Сынныра и в северной акватории озера Байкал показали присутствие ПАУ в этих территориях. Следует отметить, что пробы в верховьях хребтов отбирали в начале марта при помощи вертолетов. В твердой фракции снежного покрова, отобранных в верховье Баргузинского хребта (верховье реки Сосновка) бенз(а)пирен определялся в концентрации 0,02 мг/м³ и верховье хребта Хамар-Дабан (верховье реки Левая Мишиха) – 0,08 мг/м³ [3]. В верховьях хребтов Баргузинского и Хамар-Дабана были идентифицированы 4 ПАУ: бенз(а)пирен, и бенз(а)перилен, нафталин, бенз(а)антрацен, в снежном покрове хребта Сынныр и северной акватории озера Байкал ПАУ не были обнаружены [3]. В этот же период исследований в аэрозоли воздуха Баргузинского заповедника (река Сосновка), по данным Т. А. Теплиц-

кой, концентрация бенз(а)пирена в зимний период достигала 0,10 мг/м³, а бенз(а)перилена – 0,19 мг/м³ [12]. Также в твердой фракции снежного покрова, на акватории Южного Байкала бенз(а)пирен определялся в концентрациях 0,10 – 0,25 мг/м³ [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоэкологическая оценка концентраций и состава ПАУ в снежном покрове на территориях около техногенных источников выбросов и удаленных от них, позволила оценить уровень загрязнений этих территорий. Снежный покров обогащен ПАУ, особенно на территориях около источников техногенных выбросов. Из 16 приоритетных ПАУ, максимально было идентифицировано 14 соединений. Все 14 ПАУ, в единичном случае были идентифицированы около ИркАЗа (город Шелехов) в высоких концентрациях, превышающих фоновые значения, например, по бенз(а)пирену в 231,5 раз; там же определены аномально высокие суммарные концентрации ПАУ – 38,00 мкг/дм³. Аномально высокие суммарные концентрации ПАУ наблюдались в снежном покрове на сельскохозяйственных угодьях Шелеховского района и по долине реки Иркут. Такие высокие суммарные концентрации от 1,417 мкг/дм³ до 2,856 мкг/дм³ и в составе 12 ПАУ указывают на местные источники поступлений, которым является в этом районе единственный мощный источник выбросов ИркАЗ. Около городов Иркутска и Усолье-Сибирского было определено по 13 ПАУ, суммарные концентрации ПАУ составляли 2,856 мкг/дм³ – 1,793 мкг/дм³ соответственно. Повышенные суммарные концентрации ПАУ определяются в сельскохозяйственном Аларском районе от 0,615 до 0,620 мкг/дм³, на остальных удаленных территориях концентрации ПАУ не превышают 0,420 мкг/дм³. В составе ПАУ определяются от 7 до 10 ПАУ. На акватории Южного Байкала определены 7 ПАУ, максимальные концентрации имеют нафталин 0,109 мкг/дм³ и хризен 0,0100 мкг/дм³, которые, вероятнее всего, содержатся в выбросах местной ТЭЦ.

Как показал анализ состава ПАУ, наличие загрязнения снежного покрова, как около техногенных источников выбросов, так и удаленных от них, сформировались под действием местных источников выбросов. Во всех исследуемых территориях концентрации и состав ПАУ указывают на аномально высокий уровень техногенной нагрузки около техногенных источников выбросов и повышенный, в удаленных территориях от техногенных источников, в том числе и на акватории озера Байкал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.1.5.05-85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. Москва: Издательство стандартов, 1985. 12 с.
2. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва: Госкомгидромет, 1991. 556 с.
3. Афонина Т.Е. *Потоки органических веществ в оз. Байкал, процессы их накопления и преобразования в донных осадках*. Иркутск: Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, 2012. 288 с.

4. Белозерцева И. А. Мониторинг загрязнения окружающей среды в зоне воздействия Иркутского алюминиевого завода // *Вода: химия и экология*, 2013, № 10, с. 33-38.
 5. Бруевич Т. С. *Бластомогенность продуктов переработки нефти*. Москва: Медицина, 1980. 272 с.
 6. Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области». – URL: <https://irkobl.ru/region/ecology/doklad/> (дата обращения: 08.12.2022). – Текст: электронный.
 7. Ладейщиков Н. П. К обоснованию системы мониторинга воздушной среды и климата в регионе оз. Байкал и его бассейна // *Проблемы регионального мониторинга состояния озера Байкал*, 1983, с. 55-63.
 8. Мариняйтэ И. И., Горшков А. Г. Мониторинг экотоксикантов в объектах окружающей среды Прибайкалья. Часть II. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове промышленных центров // *Оптика атмосферы и океана*, 2002, т. 15, № 5-6, с. 450-455.
 9. Небел Б. *Наука об окружающей среде. Как устроен мир*. Москва: Мир, 1993. 420 с.
 10. *Определение концентраций химических веществ в воде централизованных систем питьевого водоснабжения: сборник методических указаний*. Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999, вып. 2. 175 с.
 11. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове Ямало-Ненецкого автономного округа как индикаторы влияния источников техногенных эмиссий / Ю. Я. Завгородняя, О. Б. Поповичева, В. О. Кобелев и др. // *Проблемы Арктики и Антарктики*, 2021, № 67 (3), с. 260-279.
 12. Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А., Козин И. С. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов // *Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды*, 1989, с. 231-254.
 13. *Химическая энциклопедия* / редколлегия: И. Л. Кнунянц [и др.]. Москва: Советская энциклопедия, 1988, Т. 1 (Абл-Дар). 623 с.
 14. Hsu W. T., Liu M. C., Hung P. C. et al. Emissions from coal combustion and waste incineration // *Journal of Hazardous Materials*, 2016, v. 318, pp. 32-40.
 15. Kuoppamäki K, Setälä H, Rantalainen A-L et al. Urban snow indicates pollution originating from road traffic // *Environmental pollution*, 2014, v. 195, pp. 56-63.
- Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 06.02.2023
Принята к публикации: 28.05.2024

UDC 547.91:551.578.46(571.53)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/114-119>

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Snow Cover of the Baikal Region and the Baikal Lake Basin

T. E. Afonina ✉

*Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky,
Russian Federation
(1, settlement Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038)*

Abstract. The purpose is a geoecological assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the snow cover of the Baikal region and the Baikal Lake.

The research covered the most populated southwestern and central territories of the Irkutsk Region (Baikal Region) and the southeastern part of the Baikal Lake coast and the South Baikal water area. GARMIN-e-Trex GPS satellite navigation receiver was used to identify sampling stations.

Materials and methods. Snow cover samples were taken in 2019-2020, before active snowmelt – at the end of February, near sources of pollutant emissions – cities, and in the first ten days of March in areas remote from sources of anthropogenic impact. PAHs concentrations were determined in snowmelt water by the chromatographic-mass spectrometric method.

Results and discussion. The results showed the spatial heterogeneity of PAHs inputs in the Baikal region and the Baikal Lake. The composition and concentrations of PAHs differ in territorial coverage. Up to 14 PAHs have been identified near anthropogenic emission sources. The total concentrations of PAHs range from insignificant – 0.353 mg/dm³ (Zima) to anomalously high – 38.00 mg/dm³ in the territory adjacent to the Irkutsk aluminum smelter (IrkAZ, Shelekhov town). Also, on the territory near IrkAZ, abnormally high concentrations of benzo(a)pyrene were found.

The levels of pollution of the snow cover with PAHs in the territories located near the sources of emissions and more remote have been established. Also on the territory near IrkAZ anomalously high concentrations of benz(a)pyrene were detected, 231.5 times higher than background values.

Conclusions. The obtained research results allowed to carry out geo-ecological assessment of PAH-polluted territories. Maximum and minimum concentrations of PAHs were identified by territorial coverage.

Key words: snow cover, samples, lake. Baikal, Baikal region, geoecological assessment, polycyclic aromatic hydrocarbons.



For citation: Afonina T. E. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Snow Cover of the Baikal Region and the Baikal Lake Basin. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2024, no. 2, pp. 130-135. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/114-119>

REFERENCES

1. GOST 17.1.5.05-85. *General requirements for sampling surface and marine waters, ice and precipitation*. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1985. 12 p. (In Russ.)
2. RD 52.04.186-89. *Guidelines for the control of atmospheric pollution*. Moscow: Goskomgidromet, 1991. 556 p. (In Russ.)
3. Afonina T. E. *Potoki organicheskikh veshchestv v oz. Baykal, protsessy ikh nakopleniya i preobrazovaniya v donnykh osadkakh* [Flows of organic substances in the lake. Baikal, the processes of their accumulation and transformation in bottom sediments]. Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 2012. 288 p. (In Russ.)
4. Belozertseva I. A. Monitoring zagryazneniya okruzhayushchey sredy v zone vozdeystviya Irkutskogo alyuminievogo zavoda [Monitoring of environmental pollution in the impact zone of the Irkutsk Aluminum Plant]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2013, no. 10, pp. 33-38. (In Russ.)
5. Bruevich T. S. *Blastomogenost' produktov pererabotki nefiti* [Blastomogenicity of refined petroleum products]. Moscow: Meditsina, 1980. 272 p. (In Russ.)
6. State reports «On the state and environmental protection of the Irkutsk region». – URL: <https://irkobl.ru/region/ecology/doklad/> (accessed 08.12.2022). – Text: electronic. (In Russ.)
7. Ladeyshchikov N. P. K obosnovaniyu sistemy monitoringa vozdushnoy sredy i klimata v regione oz. Baykal i ego basseyna [To substantiate the monitoring system of the air environment and climate in the lake region. Baikal and its basin]. *Problemy regional'nogo monitoringa sostoyaniya ozera Baykal*, 1983, pp. 55-63. (In Russ.)
8. Marinayte I. I., Gorshkov A. G. Monitoring ekotoksikantov v ob'ektakh okruzhayushchey sredy Pribaykal'ya. Chast' II. Politsiklicheskie aromatische uglevodorody v snezhnom pokrove promyshlennykh tsentrov [Monitoring of ecotoxicants in the environment of the Baikal region. Part II. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the snow cover of industrial centers]. *Optika atmosfery i okeana*, 2002, vol. 15, no. 5-6, pp. 450-455. (In Russ.)
9. Nebel B. *Nauka ob okruzhayushchey среде. Kak ustroen mir* [Environmental science. How the world works]. Moscow: Mir, 1993. 420 p. (In Russ.)
10. *Opreделение kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya: sbornik metodicheskikh ukazaniy* [Determination of concentrations of chemicals in the water of centralized drinking water supply systems: a collection of methodological guidelines]. Moscow: Federal'nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 1999, v. 2. 175 p. (In Russ.)
11. Politsiklicheskie aromatische uglevodorody v snezhnom pokrove Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga kak indikator vliyaniya istochnikov tekhnogennykh emissiy [Polycyclic aromatic hydrocarbons in the snow cover of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug as indicators of the influence of sources of man-made emissions] / Yu. Ya. Zavgorodnyaya, O. B. Popovicheva, V. O. Kobelev i dr. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2021, no. 67 (3), pp. 260-279. (In Russ.)
12. Teplitskaya T. A., Alekseeva T. A., Kozin I. S. Fonovyy monitoring politsiklicheskih aromatische uglevodorodov [Background monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons]. *Landshaftno-geokhimicheskie osnovy fonovogo monitoringa prirodnoy sredy*, 1989, pp. 231-254. (In Russ.)
13. *Khimicheskaya entsiklopediya* [Chemical Encyclopedia] / redkollegiya: I. L. Knunyants [i dr.]. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1988, T. 1 (Abl-Dar). 623 p. (In Russ.)
14. Hsu W. T., Liu M. C., Hung P. C. et al. Emissions from coal combustion and waste incineration. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, v. 318, pp. 32-40.
15. Kuoppamaki K., Setala H., Rantalainen A.-L. et al. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. *Environmental pollution*, 2014, v. 195, pp. 56-63.

Conflict of Interest: The author declares no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 06.02.2023

Accepted: 28.05.2024

Афонина Татьяна Евгеньевна

Доктор географических наук, профессор кафедры землеустройства, кадастров и сельскохозяйственной мелиорации агрономического факультета Иркутского государственного аграрного университета им. А. А. Ежевского, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2229-0841, e-mail: bf-vniprirodi@narod.ru

Tatyana E. Afonina

Dr. Sci. (Geogr.), Prof. at the Department of Land Management, Cadastre and Agricultural Melioration of the Agronomy Faculty, Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2229-0841, e-mail: bf-vniprirodi@narod.ru